

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-228863

(43)公開日 平成 5 年(1993) 9 月 7 日

(51)IntCl.<sup>5</sup>

B 2 5 J 9/10  
9/06

識別記号

庁内整理番号

Z 7331-3F

A 9147-3F

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平4-33578

(22)出願日 平成 4 年(1992) 2 月 20 日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 植之原 道 宏

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会  
社東芝総合研究所内

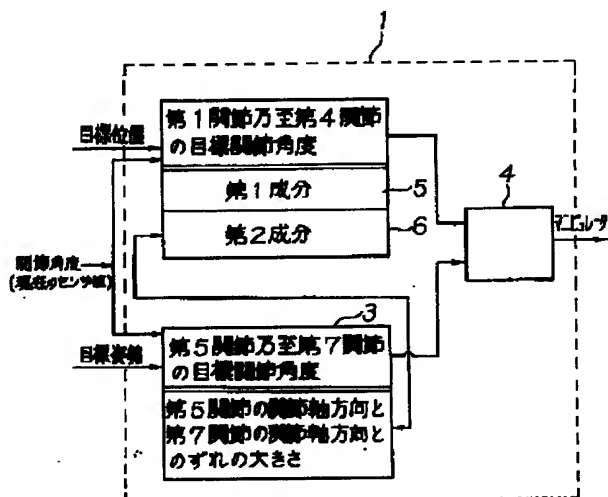
(74)代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外 3 名)

(54)【発明の名称】 マニピュレータ制御装置

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 目標位置および目標姿勢を実現する関節角度の中で、マニピュレータの各関節の無理のない目標関節角度を演算する制御装置を提供する。

【構成】 7 個の関節を有し、先端部の第 5 ～ 第 7 関節が互いにロール・ピッチ・ロールの関係にあると共に一つの交点を有するマニピュレータにおいて、制御装置 1 は手先の目標姿勢の値より第 5 ～ 第 7 関節の目標関節角度を演算する姿勢演算装置 3 と、交点の目標位置の値より目標位置を実現するための第 1 ～ 第 4 関節の関節角度の成分と第 5 関節の関節軸方向と第 7 関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第 1 ～ 第 4 関節の関節角度の成分とを演算する位置演算装置 2 と、姿勢演算装置と位置演算装置の演算結果により各関節の関節角度を制御する関節角度制御装置 4 とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1関節乃至第7関節の7個の関節を有するマニピュレータの制御装置であって、前記マニピュレータの先端部の第5関節乃至第7関節の3個の関節が互いにロール・ピッチ・ロールの関係にあるとともに第5関節乃至第7関節の関節軸が一つの交点を有し、前記制御装置は前記交点の位置を目標位置に従うようにかつ第7関節に装着された手先の姿勢を目標姿勢に従うように各々制御するものであり、前記制御装置は前記手先の目標姿勢の値より第5関節乃至第7関節の目標関節角度を演算する姿勢演算装置と、前記交点の目標位置の値より目標位置を実現するための第1関節乃至第4関節の関節角度の成分と第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分とを演算し、これらの成分を加算して第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する位置演算装置と、前記姿勢演算装置および前記位置演算装置の演算結果により第1関節乃至第7関節の関節角度を制御する関節角度制御装置とを備え、前記位置演算装置は、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分の大きさを、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさに応じて変動させることによって、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが所定範囲にあるように第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算することを特徴とするマニピュレータ制御装置。

【請求項2】第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分の大きさは、第5関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの距離と第1関節乃至第4関節の関節角度の基準関節角度からの距離との比またはこの比に関する量に比例することを特徴とする請求項1に記載のマニピュレータ制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、第1関節乃至第7関節の7個の関節を有するマニピュレータの制御装置に係り、特に、マニピュレータの先端部の第5関節乃至第7関節の3個の関節が互いにロール・ピッチ・ロールの関係にあるとともに第5関節乃至第7関節の関節軸が一つの交点を有し、前記制御装置は前記交点の位置を目標位置に従うようにかつ第7関節に装着された手先の姿勢を目標姿勢に従うように各々制御するマニピュレータ制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】工場内で使用される産業用ロボットを中心として、6個の関節を有するマニピュレータが多く用いられている。これらの多くのマニピュレータは、先端

部の3個の関節の関節軸が一点で交わりかつこれらの関節がロール・ピッチ・ロールの関係にある。

【0003】このような6個の関節を有するマニピュレータの先端に装着された手先は、マニピュレータが6自由度を有するために、マニピュレータの動作範囲内にある限り、3次元空間の任意の位置および姿勢を実現することができる。

【0004】通常、マニピュレータ制御装置は、指定された目標位置および目標姿勢を表す座標値を各関節の関節角度の値に座標変換して目標関節角度を求め、次にこれらの目標関節角度を実現するように各関節軸を制御する。

【0005】先端部の3個の関節がロール・ピッチ・ロールの関係にあるこれらのマニピュレータが目標とする位置および姿勢を実現しようとする場合において、次の2つのやり方が通常よく考えられる。

【0006】すなわち、一つはマニピュレータの先端の先端位置と先端姿勢とを制御目標とするもの、他は先端部の3個の関節の関節軸の交点の位置とマニピュレータの先端姿勢とを制御目標とするものである。

【0007】後者の場合、すなわち先端部の3個の関節の関節軸の交点の位置を目標位置にしかつマニピュレータの先端の姿勢を目標姿勢にする場合には、マニピュレータの基端部の3個の関節によって目標位置を規定し、先端部の3個の関節によって目標姿勢を規定することになる。このため、基端部の3個の関節と先端部の3個の関節とが分離して扱うことができるので、目標位置および目標姿勢から目標関節角度を求めるための座標変換を容易に行うことができる。

【0008】一方、近年、研究開発用を始めとして7個の関節を有するマニピュレータが開発され始めている。

【0009】マニピュレータを制御目標とする目標位置および目標姿勢へ制御できるためには、マニピュレータは6個の関節を有すれば十分である。従って、7個の関節を有するマニピュレータにおいては、目標位置および目標姿勢を実現するための関節角度は一意には決まらない。この残りの一自由度を利用することによって、障害物の回避、無理のない姿勢の実現あるいは特異姿勢の回避などを可能にすることができる。

【0010】障害物の回避とは、目標位置および目標姿勢を実現しながら肘の姿勢を変化させることによりマニピュレータのリンクが障害物と衝突することを防ぐことである。

【0011】また、無理のない姿勢の実現とは、ある関節の関節角度が可動範囲限界付近にまでできるだけ達しないように、目標位置および目標姿勢を実現できる種々の関節角度から適当な関節角度を選択することである。一般に、6個の関節を有すれば可動範囲内の任意の位置および姿勢を実現できるが、目標とする位置や姿勢の値によってはマニピュレータがかなり無理の姿勢になるこ

とがおうおうにしてある。人間の腕は通常、あまり無理な姿勢をとらない。この理由は人間の腕が7個の関節を有することに大きく負っている。同様にマニピュレータにおいても、7個の関節を利用することによって無理のない姿勢を実現できる。

【0012】また、無理のない姿勢は、できるだけ多数の関節を寄与させることによって実現される姿勢である。制御目標を実現するための動作を特定の関節のみに偏って負担させることは、各関節にはそれぞれ可動範囲があるのでその関節の可動範囲限界によって制限され、マニピュレータの可動範囲が狭くなるからである。

【0013】また、特異姿勢の回避とは、例えば複数の関節軸が一致あるいは平行になったりすることを回避することである。このような特異姿勢においては、複数の関節で1個の自由度しか実現できなくなるからである。

【0014】上述のように、7個の関節を有するマニピュレータは余分の1個の関節を種々の目的を実現するために利用することが可能である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これまで研究開発されてきた7個の関節を有するマニピュレータは障害物の回避に利用するものがほとんどであった。あるいは、そのときどきのマニピュレータの肘の角度を外部から指定して目的を実現するのみのものであった。

【0016】従って、特別な障害物がない場合には、マニピュレータが余分の1個の関節を有することを十分に利用してはいなかった。また、外部から目標値を与えなくとも、できるだけ無理のない姿勢を実現するマニピュレータは見受けられなかった。すなわち、目標位置および目標姿勢を実現する関節角度の中で最も無理のない目標関節角度を算出し、この目標関節角度に追従するようにマニピュレータを制御するマニピュレータ制御装置は見受けられず、冗長自由度を十分に利用していなかった。

【0017】そこで本発明の目的は、上記従来技術の有する問題を解消し、目標位置および目標姿勢を実現する関節角度の中で、マニピュレータの姿勢に無理のない各関節の目標関節角度を演算するマニピュレータ制御装置を提供することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、第1関節乃至第7関節の7個の関節を有するマニピュレータの制御装置であって、前記マニピュレータの先端部の第5関節乃至第7関節の3個の関節が互いにロール・ピッチ・ロールの関係にあるとともに第5関節乃至第7関節の関節軸が一つの交点を有し、前記制御装置は前記交点の位置を目標位置に従うようにかつ第7関節に装着された手先の姿勢を目標姿勢に従うように各々制御するものであり、前記制御装置は前記手先の目標姿勢の値より第5関節乃至第7関節の目標関節角度

を演算する姿勢演算装置と、前記交点の目標位置の値より目標位置を実現するための第1関節乃至第4関節の関節角度の成分と第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分とを演算し、これらの成分を加算して第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する位置演算装置と、前記姿勢演算装置および前記位置演算装置の演算結果により第1関節乃至第7関節の関節角度を制御する関節角度制御装置とを備え、前記位置演算装置は、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分の大きさを、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさに応じて変動させることによって、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが所定範囲にあるように第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算することを特徴とする。

【0019】

【作用】マニピュレータの先端部の第5関節乃至第7関節の3個の関節が互いにロール・ピッチ・ロールの関係にあるとともに第5関節乃至第7関節の関節軸が一つの交点を有するので、先端部の第5関節乃至第7関節の3個の関節によって目標姿勢を規定し、基端部の第1関節乃至第4関節の4個の関節によって目標姿勢を規定し、先端部の3個の関節と基端部の4個の関節とを分離して扱うことができるので、目標位置および目標姿勢から目標関節角度を求めるための座標変換を容易に行うことができる。

【0020】位置演算装置は目標位置を実現するための第1関節乃至第4関節の関節角度の成分のみならず、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分を演算し、これらの成分を加算して第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する。

【0021】さらに、位置演算装置は、目標姿勢を規定する第1関節乃至第4関節の4個の関節の残余の一自由度を利用して、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分の大きさを、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさに応じて変動させることによって、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが所定範囲にあるように第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する。

【0022】

【実施例】以下に本発明によるマニピュレータ制御装置の一実施例を図1および図2を参照して説明する。

【0023】図2に示すように、7個の関節を有するマニピュレータ10が基台20に取り付けられている。マニピュレータ10の7個の関節は、基端部の第1関節1

1乃至第4関節14の4個の関節と、先端部の第5関節15乃至第7関節17の3個の関節とからなる。第7関節17の先端には手先21が装着されている。

【0024】また、図2(B)には、第1関節11乃至第7関節17の構成関係が概略的に示されている。

【0025】マニピュレータ10の先端部の第5関節15、第6関節16および第7関節17の3個の関節は互いにロール・ピッチ・ロールの関係にある。すなわち、第7関節17の関節軸方向17aは手先21の先端方向に向き、かつ第6関節16の関節軸方向16aと垂直にある。また、第5関節15の関節軸方向15aは第6関節16の関節軸方向16aと垂直にあり、かつ第7関節17の関節軸方向17aと同一平面上にある。図2において、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとは一直線をなす状態を示しているが、一般には第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとはずれている。

【0026】また、第5関節15、第6関節16および第7関節17の3個の関節の関節軸は一つの交点22を有する。

【0027】マニピュレータ10の位置の制御対象として交点22を選択し、マニピュレータの姿勢の制御対象として手先21の姿勢を選択する。そして、マニピュレータ10は交点22の位置を目標位置に従うようにかつ手先21の姿勢を目標姿勢に従うように、マニピュレータ制御装置1によって各関節の目標関節角度を演算し制御する。

【0028】次に図1にマニピュレータ制御装置1の概略を示す。

【0029】図1において、マニピュレータ制御装置1は交点22の目標位置の値より第1関節11乃至第4関節14の目標関節角度を演算することに関する位置演算装置2と、手先21の目標姿勢の値より第5関節15乃至第7関節17の目標関節角度を演算する姿勢演算装置3と、位置演算装置2および姿勢演算装置3の演算結果\*

$$X = f(\theta)$$

$$= f(f1, f2, f3)^T$$

ここで、Tは転置を表し、以下においても同様である。また、f1、f2およびf3は各々fに関する空間成分を表す。

【0038】また、位置ベクトルxの微小変化量Δxと※

$$\Delta X = J(\theta) \cdot \Delta \theta$$

ここで

$$J(\theta) = (\partial f_i / \partial \theta_j) \quad (i=1, 2, 3; j=1, \dots, 4) \quad (2)$$

ここで、J(θ)はヤコビアン行列である。また、θ<sub>j</sub> は第j関節の関節角度である。

\*により第1関節乃至第7関節の関節角度を制御する関節角度制御装置4とを備えている。

【0030】次に、図1を参照してマニピュレータ制御装置1の作用について説明する。

【0031】位置演算装置2には交点22の位置の指定された目標位置に関する情報が外部から入力される。また、姿勢演算装置3には手先21の姿勢の指定された目標姿勢に関する情報が外部から入力される。

【0032】位置演算装置2は交点22の目標位置の値より、目標位置を実現するための第1関節乃至第4関節の関節角度の成分である第1成分5のみならず、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分である第2成分6とを演算する。位置演算装置2は第1成分と第2成分とを加算して第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する。

【0033】また、位置演算装置2は第2成分6の大きさが第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさに応じて変動させることによって、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが所定範囲にあるように第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する。

【0034】位置演算装置2および姿勢演算装置3の演算結果は関節角度制御装置4に入力される。関節角度制御装置4は入力された情報に基づきマニピュレータ10の第1関節乃至第7関節の関節角度を制御する。

【0035】以下に数式を用いて上述の内容を説明する。

【0036】交点22の位置を表す位置ベクトルをx、第1関節11乃至第4関節14の関節角度を表す関節角度ベクトルをθとすると、位置ベクトルxと関節角度ベクトルθの関係は式(1)のように関数fで表すことができる。

【0037】

【数1】

(1)

※関節角度ベクトルθの微小変化量Δθとの間には、式(2)で表される関係が成立する。

【0039】

【数2】

50 第j関節の関節角度である。

【0040】次に式(2)より、 $\Delta x$ が与えられたときの $\Delta \theta$ を求める関係を求める。この関係は式(3)のよう表すことができる。

\*【0041】

【数3】

\*

$$\Delta \theta = J^{-1}(\theta) \cdot \Delta x + (I - J^{-1}(\theta) \cdot J(\theta)) \cdot k \quad (3)$$

$J^{-1}(\theta)$ : ヤコビアン行列の疑似逆行列 ( $\equiv J^T(JJ^T)^{-1}$ )

$k$ :  $(4 \times 1)$  の任意ベクトル

$I$ : 単位行列

次に、以下に目標関節角度の求め方について説明する。

【0042】まず、式(1)を用いて第1関節乃至第4関節の現在の関節角度から交点22の現在の位置を算出する。

【0043】次に交点22の位置の目標位置と現在位置との差 $\Delta x$ を求めた後、式(3)に従って $\Delta \theta$ を求める。

【0044】式(3)から算出した $\Delta \theta$ を現在の関節角度に加えることにより、第1関節乃至第4関節の目標関節角度が得られる。

【0045】なお、 $\Delta x$ の値が大きくなると式(3)は厳密には成立しない。しかし、マニピュレータ制御装置1は数msecから数10msecという短い周期で繰り返し計算を行うので、この短い周期時間においては $\Delta x$ の値が十分に小さいので問題はない。

【0046】式(3)の右辺において、第1項は交点22の目標位置の値より目標位置を実現するための第1関節11乃至第4関節14の関節角度の成分である第1成分(図1における符号5)を表す。また、第2項は第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節11乃至第4関節14の関節角度の成分である※

※第2成分(図1における符号6)を表す。

【0047】第2成分は交点22の位置の変化になんら影響を与えない成分である。すなわち、ベクトル $k$ の値をどのように設定しても交点22の位置は変化しない。

20 【0048】この第2成分の有する性質を利用して、以下のようにしてベクトル $k$ の値を算出することにより、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれをできるだけ小さくするように、第1関節11乃至第4関節14の目標関節角度を算出する。

【0049】(1) 手先21の目標姿勢の値から、第7関節17の関節軸方向17aの単位ベクトル $p = (p_1, p_2, p_3)$ を算出する。ここで、 $p_1, p_2, p_3$ はベクトル $p$ の空間成分を表す。

30 【0050】(2) 第5関節15の関節軸方向15aの単位ベクトル $q = (q_1, q_2, q_3)$ を第1関節11乃至第4関節14の関節角度 $\theta_i$  ( $i = 1 \sim 4$ )で表したものを $q = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ とすると、式(5)を満たすようにベクトル $k$ を求める。

【0051】

【数4】

$$k_1 = -\partial L / \partial \theta_1$$

$$k_2 = -\partial L / \partial \theta_2$$

$$k_3 = -\partial L / \partial \theta_3$$

$$k_4 = -\partial L / \partial \theta_4$$

(4)

ここで、 $L$ は単位ベクトル $p = (p_1, p_2, p_3)$ と単位ベクトル $q = (q_1, q_2, q_3)$ との距離であり、式(5)によって表される。

★【0052】

【数5】

★

$$L = (p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + (p_3 - q_3)^2 \quad (5)$$

式(4)の計算は、計測自動制御学会誌「計測と制御」、Vol. 25, No. 1, 吉川恒夫著「ロボットアームの制御方式」の第2サブタスクの評価関数 $p$ を $L$ と置換し、この $L$ に対して、「ロボットアームの制御方

式」の記載中の(4. 6)式の計算を行ったことに相当する。

【0053】ただし、本実施例においては、「ロボットアームの制御方式」の記述と異なり評価関数となる $L$ の

値をなるべく小さくするようにベクトル $k$ の値を決めたので、式(4)の右辺に負符号を付けてある。

【0054】式(4)により算出したベクトル $k$ を用いて、式(3)における第2成分を求める。そして、式(3)において、第1成分と第2成分との和を演算して $\Delta\theta$ を求める。上述したように、式(3)から算出した $\Delta\theta$ を現在の関節角度に加えることにより、第1関節乃至第4関節の目標関節角度を求める。これにより、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれをできるだけ小さくするように、第1

【0055】以下にベクトル $k$ の大きさの設定の仕方を説明する。なお、ベクトル $k$ の大きさは式(4)における各成分の自乗和の平方根として与えられる。

【0056】ベクトル $k$ の大きさは次のことを満たすように決められる。

【0057】(1) マニピュレータ1の先端部の3個の関節である第5関節15乃至第7関節17の関節角度が基準となる関節角度である基準角度から大きく離れる\*20

$$\Delta\theta_t = (\theta_5 - \theta_{50}, \theta_6 - \theta_{60}, \theta_7 - \theta_{70}) \quad (6)$$

$\theta_i$ : 第 $i$ 関節軸関節角度

$\theta_{i0}$ : 第 $i$ 関節軸基準角度 ( $i=5,6,7$ )

また、基端部の4個の関節である第1関節11乃至第4関節14の関節角度の基準角度からの偏差ベクトル $\Delta\theta_r$ を示す。

※【0062】

【数6】

※

$$\Delta\theta_r = (\theta_1 - \theta_{10}, \theta_2 - \theta_{20}, \theta_3 - \theta_{30}, \theta_4 - \theta_{40}) \quad (7)$$

$\theta_i$ : 第 $i$ 関節軸関節角度

$\theta_{i0}$ : 第 $i$ 関節軸基準角度

次に、先端部の3個の関節の関節角度の基準角度からの距離に相当する評価関数 $L_t$ を式(8)によって定義する。

★【0063】

【数8】

★

$$\begin{aligned} L_t &= \|A_t \cdot \Delta\theta_t\| \\ &= (\Delta\theta_t)^T \cdot A_t \cdot (\Delta\theta_t) \end{aligned}$$

$$\text{ここで } A_t = \begin{bmatrix} a_5 & 0 & 0 \\ 0 & a_6 & 0 \\ 0 & 0 & a_7 \end{bmatrix} \quad (8)$$

また、基端部の4個の関節の関節角度の基準角度からの距離に相当する評価関数 $L_r$ を式(9)によって定義する。

【0064】

【数9】

\*につれて、式(3)における第2成分を増大させるようにベクトル $k$ の大きさを設定する。これにより、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれが極度に大きくなることを防止することができる。

【0058】(2) マニピュレータ1の基端部の4個の関節である第1関節11乃至第4関節14の関節角度が基準角度から大きく離れるにつれて、式(3)における第2成分を減少させるようにベクトル $k$ の大きさを設定する。これにより、第1関節11乃至第4関節14の関節角度が基準角度から極度に離れることを防止することができる。

【0059】次に、上述の(1)および(2)を満たすようなベクトル $k$ の大きさの設定について、式(6)乃至式(10)を用いて具体的に説明する。

【0060】式(6)に、先端部の3個の関節である第5関節15乃至第7関節17の関節角度の基準角度からの偏差ベクトル $\Delta\theta_t$ を示す。

【0061】



$$L_r = \|A_r \cdot \Delta \theta_r\|$$

$$= (\Delta \theta_r)^T \cdot A_r \cdot (\Delta \theta_r)$$

$$\text{ここで } A_r = \begin{bmatrix} a1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式(8)および式(9)において、係数 $a_i$  ( $i=1\sim 7$ )は第 $i$ 関節の関節角度の基準角度からの偏差をどれだけ重視するかについての重み係数であり、正の定数である。すべての関節について各関節角度の各基準角度からの偏差を小さくするためには、例えば係数 $a_i$  ( $i=1\sim 7$ )=1のように、すべての成分を1に設定すれば\*

$$\lambda = L_t / L_r$$

最終的に、ベクトル $k$ の大きさを比 $\lambda$ に比例するように設定する。

【0067】このようにベクトル $k$ の大きさを設定することにより、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれが極度に大きくなることを防止することができるとともに、基端部の4個の関節の関節角度が基準角度から極度に離れることを防止することができる。

【0068】なお、第5関節15の関節軸の回りのロール回転による関節角度の基準角度からの偏差と、第7関節17の関節軸の回りのロール回転による関節角度の基準角度からの偏差とは、互いに逆符号になるようにすることによって、無理な姿勢を容易に回避することができる。また、手先21の装着された第7関節17の関節軸の回りのロール回転のみが要求されるときは、第5関節15の関節軸の回りのロール回転を止めたまま、第7関節17の関節軸の回りのロール回転の許容範囲内で任意の姿勢をとることは何等支障がない。

【0069】本実施例の構成によれば、ベクトル $k$ の大きさを比 $\lambda$ に比例するように設定したので、第5関節15の関節軸方向15aと第7関節17の関節軸方向17aとのずれが極度に大きくなることを防止することができるとともに、基端部の4個の関節の関節角度が基準角度から極度に離れることを防止することができる。

【0070】この結果、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが無理のない範囲にあるように選択することができる。そして、ある特定の関節の関節角度のみをいたずらに大きくすることを防止することができる。

【0071】また、これによって、ある特定の関節の関節角度の可動範囲限界によって制限されることなく、マニピュレータ10全体の可動範囲を大きくすることができる。

\*よい。

【0065】次に、式(10)に示すように、 $L_t$ と $L_r$ との比 $\lambda$ を求める。

【0066】

【数10】

(10)

【0072】また、式(8)および式(9)における係数 $a_i$  ( $i=1\sim 7$ )の値を適当に設定することができるので、各関節の関節角度の基準関節角度からの偏差を各々の偏差が有する許容範囲に応じて重みづけをすることができる。

【0073】この結果、ある目標位置および目標姿勢を実現する上で、例えば負担を少なくしたい関節にたいしてはその負担を少なくすることができる。

【0074】なお、ベクトル $k$ の大きさを比 $\lambda$ に比例するとしたが比 $\lambda$ そのものに比例しなくとも、例えば比 $\lambda$ の自乗に比例する等、比 $\lambda$ に関する量に依存するように設定すればよい。

30 【0075】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の構成によれば、位置演算装置は目標姿勢を規定する第1関節乃至第4関節の4個の関節の残余の自由度を利用して、第5関節の関節軸方向と第7関節の関節軸方向とのずれの大きさを小さくするように作用する第1関節乃至第4関節の関節角度の成分の大きさが所定範囲で変動するように第1関節乃至第4関節の目標関節角度を演算する。この結果、第1関節乃至第7関節の関節角度の基準関節角度からの各々の偏差の大きさが所定範囲にあるようにすることができ、マニピュレータの目標位置および目標姿勢を実現する関節角度の中で、マニピュレータの各関節は無理のない関節角度をとることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のマニピュレータ制御装置の一実施例のブロック図。

【図2】本発明のマニピュレータ制御装置の制御対象となるマニピュレータを示す斜視図(A)と、マニピュレータの関節の構成関係を概略的に示す図(B)。

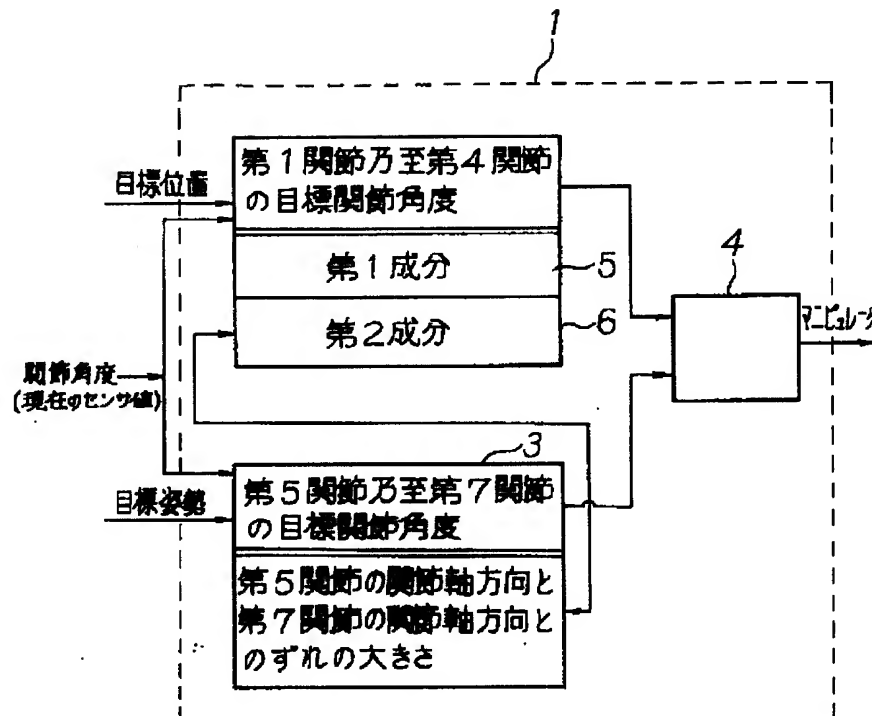
【符号の説明】

50 1 マニピュレータ制御装置

2 位置演算装置  
 3 姿勢演算装置  
 4 関節角度制御装置  
 5 第1成分  
 6 第2成分  
 10 マニピュレータ  
 11 第1関節  
 11 a 第1関節の関節軸方向  
 12 第2関節  
 12 a 第2関節の関節軸方向  
 13 第3関節

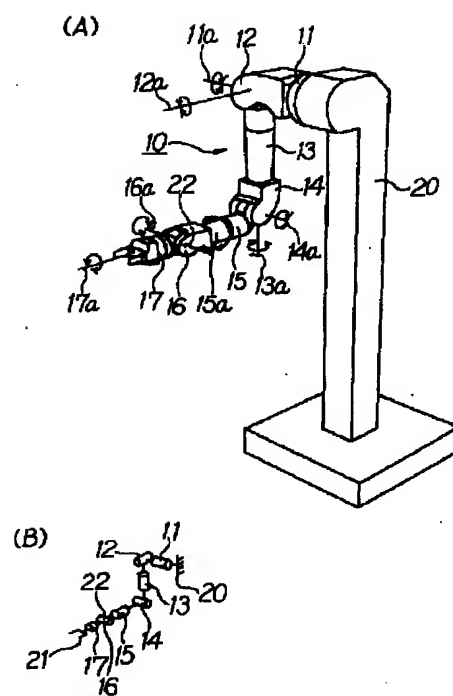
\* 13 a 第3関節の関節軸方向  
 14 第4関節  
 14 a 第4関節の関節軸方向  
 15 第5関節  
 15 a 第5関節の関節軸方向  
 16 第6関節  
 16 a 第6関節の関節軸方向  
 17 第7関節  
 20 基台  
 21 手先  
 \* 22 交点

【図1】





【図2】



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-228863

(43)Date of publication of application : 07.09.1993

(51)Int.Cl.

B25J 9/10

B25J 9/06

(21)Application number : 04-033578

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.02.1992

(72)Inventor : UENOHARA MICHIMIRO

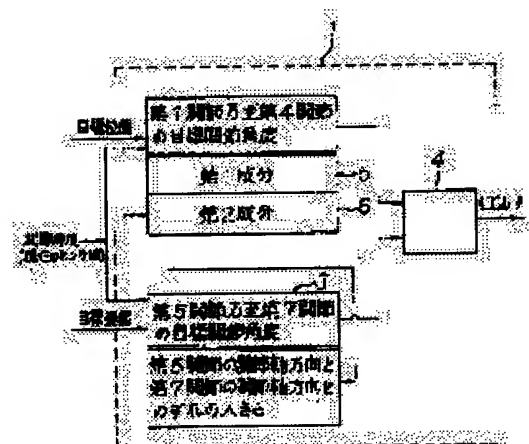
## (54) MANIPULATOR CONTROL UNIT

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To facilitate a coordinate transformation finding a desired joint angle out of a desired position and a desired attitude by setting plural pieces of joints in each tip part to a relationship of roll-pitch-roll with one another, while adopting such a means that one intersection is set in each joint shaft of these joints and so on.

**CONSTITUTION:** A control unit 1 of a manipulator with seven joints operates a desired joint angle of each of first to fourth joints at a position arithmetic unit on the basis of a desired position of an intersection being forced by a joint shaft of each of fifth to seventh joints. At this time, not only a first component 5 pertaining to a joint angle of each of first to fourth joints but also a second component 6 pertaining to the joint angle of each of the first to fourth joints for reducing the axial slippage of these first to fourth joints are operated together. In addition, on the basis of a desired attitude of a terminal attached to the seventh joint, the desired joint angle of each of the fifth to seventh joints is operated at an attitude arithmetic unit 3.

Furthermore, on the basis of respective operational results of each arithmetic unit 3, the joint angle of each of the first to seventh joints is controlled by a joint angle control unit 4.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.02.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3224839

[Date of registration]

24.08.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the control unit of the manipulator which has seven joints of the 1st joint thru/or the 7th joint. While three joints of the 5th joint of the point of said manipulator thru/or the 7th joint have the relation of a roll pitch roll mutually, the joint shaft of the 5th joint thru/or the 7th joint has one intersection. Said control unit is what controls respectively a hand's posture with which the 7th joint was equipped so that a target position might be followed in the location of said intersection to follow a target posture. The posture arithmetic unit with which said control unit calculates the target joint include angle of the 5th joint thru/or the 7th joint from the value of said hand's target posture, The component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the component of the joint include angle of the 1st joint for realizing a target position from the value of the target position of said intersection thru/or the 4th joint, the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint is calculated. The location arithmetic unit which adds these components and calculates the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint, It has the joint include-angle control unit which controls the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint by the result of an operation of said posture arithmetic unit and said location arithmetic unit. Said location arithmetic unit The magnitude of the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint By making it change according to the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint The manipulator control unit characterized by calculating the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint as the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint is in the predetermined range.

[Claim 2] The magnitude of the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint The manipulator control unit according to claim 1 characterized by being proportional to a ratio with the distance from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 5th joint the distance from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 7th joint and the 1st joint thru/or the 4th joint, or the amount about this ratio.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the control unit of the manipulator which has seven joints of the 1st joint thru/or the 7th joint. While three joints of the 5th joint of the point of a manipulator thru/or the 7th joint have the relation of a roll pitch roll mutually especially, the joint shaft of the 5th joint thru/or the 7th joint has one intersection. Said control unit is related with the manipulator control unit which controls respectively a hand's posture with which the 7th joint was equipped so that a target position might be followed in the location of said intersection to follow a target posture.

[0002]

[Description of the Prior Art] Many manipulators which have six joints centering on the industrial robot used in works are used. As for the manipulator of these many, intersections and these joints have [ the joint shaft of three joints of a point ] the relation of a roll pitch roll by one point.

[0003] The hand with whom it was equipped at the tip of the manipulator which has such six joints can realize the location and posture of arbitration of three-dimension space, as long as it is in the operating range of a manipulator, since a manipulator has six degrees of freedom.

[0004] Usually, a manipulator control unit carries out coordinate transformation of the coordinate value showing the specified target position and a target posture to the value of the joint include angle of each joint, asks for a target joint include angle, and controls each joint shaft to realize these target joint include angles next.

[0005] When these manipulators three joints of a point have the relation of a roll pitch roll tend to realize target location and posture, the following two ways are usually considered well.

[0006] That is, the thing and others to which one makes control objectives the tip location and tip posture at a tip of a manipulator make control objectives the location of the intersection of the joint shaft of three joints of a point, and the tip posture of a manipulator.

[0007] Case [ the case of the latter ], i.e., when making the location of the intersection of the joint shaft of three joints of a point into a target position and making the posture at the tip of a manipulator into a target posture, three joints of the end face section of a manipulator will prescribe a target position, and three joints of a point will prescribe a target posture. For this reason, since three joints of the end face section and three joints of a point can dissociate and treat, coordinate transformation for asking for a target joint include angle can be easily performed from a target position and a target posture.

[0008] On the other hand, the manipulator which has seven joints including the object for researches and developments is beginning to be developed in recent years.

[0009] In order for a manipulator to be controllable to the target position and target posture which are made into control objectives, if a manipulator has six joints, it is enough. Therefore, in the manipulator which has seven joints, it is not decided that the joint include angle for realizing a target position and a target posture will be a meaning. By using this one remaining degree of freedom, evasion of an obstruction, implementation of the impossible posture which is not, or evasion of a unique posture can be enabled.

[0010] Evasion of an obstruction is preventing the link of a manipulator colliding with an obstruction by realizing a target position and a target posture and changing the posture of \*\*\*\*\*.

[0011] Moreover, implementation of the impossible posture which is not is choosing a suitable joint include angle from the various joint include angles which can realize a target position and a target posture, as the joint include angle of a certain joint does not reach even near a movable range limitation as much as possible. although the location and posture of arbitration of movable within the limits are generally realizable if it has six joints, it takes that a manipulator becomes a quite impossible posture depending on the value of a target location or a posture -- it has carried out for taking. Human being's arm does not take a usually not much impossible posture. Negative requires this reason for human being's arm having seven joints greatly. In a manipulator, the impossible posture which is not is realizable by using seven joints similarly.

[0012] Moreover, the impossible posture which is not is a posture realized by making many joints contribute as much as possible. It is because there is movable range in each joint, respectively, so it is restricted by the movable range limitation of the joint and the movable range of a manipulator becomes narrow to incline only toward a specific joint and to make it pay the actuation for realizing control objectives.

[0013] Moreover, evasion of a unique posture is that two or more joint shafts avoid coincidence or becoming parallel. In such a unique posture, it is because it becomes impossible to realize only the degree of freedom of one piece at two or more joints.

[0014] As mentioned above, the manipulator which has seven joints can use one excessive joint in order to realize the various purposes.

[0015]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, it was almost the case which uses for evasion of an obstruction the manipulator which has seven joints research and development in has so far been done. Or the include angle of the elbow of the occasional manipulator was specified from the outside, and it was the thing of only realizing the purpose.

[0016] Therefore, when there was no special obstruction, it did not fully use having one joint with an excessive manipulator. Moreover, even if it did not give desired value from the exterior, the manipulator which realizes the impossible possible posture that is not was not able to be seen. That is, the impossible target joint include angle in the joint include angle which realizes a target position and a target posture that is not was computed, and the manipulator control unit which controls a manipulator to follow this target joint include angle could not be seen, and did not fully use the redundancy degree of freedom.

[0017] Then, the purpose of this invention is offering the manipulator control unit which calculates the target joint include angle of each joint with the posture of a manipulator impossible for which is not in the joint include angle which solves the problem which the above-mentioned conventional technique's has, and realizes a target position and a target posture.

[0018]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, this invention is the control unit of the manipulator which has seven joints of the 1st joint thru/or the 7th joint. While three joints of the 5th joint of the point of said manipulator thru/or the 7th joint have the relation of a roll pitch roll mutually, the joint shaft of the 5th joint thru/or the 7th joint has one intersection. Said control unit is what controls respectively a hand's posture with which the 7th joint was equipped so that a target position might be followed in the location of said intersection to follow a target posture. The posture arithmetic unit with which said control unit calculates the target joint include angle of the 5th joint thru/or the 7th joint from the value of said hand's target posture, The component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the component of the joint include angle of the 1st joint for realizing a target position from the value of the target position of said intersection thru/or the 4th joint, the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint is calculated. The location arithmetic unit which adds these components and calculates the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint, It has the joint include-angle control unit which controls the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint by the result of an operation of said posture arithmetic unit and said location arithmetic unit. Said location arithmetic unit The magnitude of the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint By

making it change according to the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint. It is characterized by calculating the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint, as the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint is in the predetermined range.

[0019]

[Function] Since the joint shaft of the 5th joint thru/or the 7th joint has one intersection while three joints of the 5th joint of the point of a manipulator thru/or the 7th joint have the relation of a roll pitch roll mutually. Three joints of the 5th joint of a point thru/or the 7th joint prescribe a target posture. Since a target posture can be specified and three joints of a point and four joints of the end face section can be separated and treated by four joints of the 1st joint of the end face section thru/or the 4th joint, coordinate transformation for asking for a target joint include angle can be easily performed from a target position and a target posture.

[0020] A location arithmetic unit calculates the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of not only the component of the joint include angle of the 1st joint for realizing a target position thru/or the 4th joint but the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint, adds these components and calculates the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint.

[0021] Furthermore, a location arithmetic unit uses one degree of freedom of the remainder of four joints of the 1st joint which specifies a target posture thru/or the 4th joint. The magnitude of the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint. By making it change according to the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint, as the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint is in the predetermined range, the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint is calculated.

[0022]

[Example] One example of the manipulator control unit by this invention is explained with reference to drawing 1 and drawing 2 below.

[0023] As shown in drawing 2, the manipulator 10 which has seven joints is attached in the pedestal 20. Seven joints of a manipulator 10 consist of four joints of the 1st joint 11 of the end face section thru/or the 4th joint 14, and three joints of the 5th joint 15 of a point thru/or the 7th joint 17. It is equipped with the hand 21 at the tip of the 7th joint 17.

[0024] Moreover, the configuration relation between the 1st joint 11 thru/or the 7th joint 17 is roughly shown in drawing 2 (B).

[0025] Three joints, the 5th joint 15 of the point of a manipulator 10, the 6th joint 16, and the 7th joint 17, have the relation of a roll pitch roll mutually. Namely, there is joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 toward a hand's 21 direction of a tip at right angles to joint shaft-orientations 16a of the 6th joint 16. Moreover, there is joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 at right angles to joint shaft-orientations 16a of the 6th joint 16, and it is on the same flat surface as joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17. In drawing 2, although joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 show the condition of making a straight line, generally joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 are shifted.

[0026] Moreover, the joint shaft of three joints, the 5th joint 15, the 6th joint 16, and the 7th joint 17, has one intersection 22.

[0027] An intersection 22 is chosen as a controlled system of the location of a manipulator 10, and a hand's 21 posture is chosen as a controlled system of the posture of a manipulator. And to follow a target posture, the target joint include angle of each joint is calculated, and a manipulator 10 controls a hand's 21 posture by the manipulator control unit 1 to follow a target position in the location of an intersection 22.

[0028] Next, the outline of the manipulator control unit 1 is shown in drawing 1.

[0029] The location arithmetic unit 2 about the manipulator control unit 1 calculating the target joint include angle of the 1st joint 11 thru/or the 4th joint 14 from the value of the target position of an intersection 22 in drawing 1, It has the posture arithmetic unit 3 which calculates the target joint

include angle of the 5th joint 15 thru/or the 7th joint 17 from the value of a hand's 21 target posture, and the joint include-angle control unit 4 which controls the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint by the result of an operation of the location arithmetic unit 2 and the posture arithmetic unit 3.

[0030] Next, an operation of the manipulator control unit 1 is explained with reference to drawing 1.

[0031] The information about the target position where the location of an intersection 22 was specified is inputted into the location arithmetic unit 2 from the outside. Moreover, the information about the target posture in which a hand's 21 posture was specified is inputted into the posture arithmetic unit 3 from the outside.

[0032] From the value of the target position of an intersection 22, the location arithmetic unit 2 calculates the 2nd component 6 which is a component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of not only the 1st component 5 but the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint which are the components of the joint include angle of the 1st joint for realizing a target position thru/or the 4th joint may be made small thru/or the 4th joint. The location arithmetic unit 2 adds the 1st component and the 2nd component, and calculates the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint.

[0033] Moreover, when the magnitude of the 2nd component 6 makes it change according to the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint, and the joint shaft orientations of the 7th joint, the location arithmetic unit 2 calculates the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint, as the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint is in the predetermined range.

[0034] The result of an operation of the location arithmetic unit 2 and the posture arithmetic unit 3 is inputted into the joint include-angle control unit 4. The joint include-angle control unit 4 controls the joint include angle of the 1st joint of a manipulator 10 thru/or the 7th joint based on the inputted information.

[0035] A formula is used for below and the above-mentioned contents are explained to it.

[0036] When setting to theta the joint include-angle vector which expresses the joint include angle of x, the 1st joint 11, or the 4th joint 14 for the position vector showing the location of an intersection 22, the relation between a position vector x and the joint include-angle vector theta can be expressed with Function f like a formula (1).

[0037]

[Equation 1]

$$\begin{aligned} X &= f(\theta) \\ &= f(f1, f2, f3)^T \end{aligned} \quad (1)$$

Here, T expresses transposition and is the same as that of below. Moreover, f1, f2, and f3 express the space component about f respectively.

[0038] Moreover, the relation expressed with a formula (2) is materialized between the minute variation delta x of a position vector x, and minute variation deltatheta of the joint include-angle vector theta.

[0039]

[Equation 2]

$$\Delta X = J(\theta) \cdot \Delta \theta$$

ここで

$$J(\theta) = (\partial f_i / \partial \theta_j) \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, 4) \quad (2)$$

Here, J (theta) is a Jacobian matrix. Moreover, thetaji is the joint include angle of the j-th joint.

[0040] Next, it asks for the relation which asks for deltatheta when delta x is given from a formula (2). This relation can be expressed like a formula (3).

[0041]



[Equation 3]

$$\Delta \theta = J^{-1}(\theta) \cdot \Delta x + (I - J^{-1}(\theta) \cdot J(\theta)) \cdot k \quad (3)$$

$J^{-1}(\theta)$  : ヤコビアン行列の疑似逆行列 ( $\equiv J^T(JJ^T)^{-1}$ )

$k$  :  $(4 \times 1)$  の任意ベクトル

$I$  : 単位行列

Next, how to ask below for a target joint include angle is explained.

[0042] First, the current location of an intersection 22 is computed from the current joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint using a formula (1).

[0043] Next, after searching for the difference delta x of the target position of the location of an intersection 22, and the current position, it asks for deltatheta according to a formula (3).

[0044] By adding deltatheta computed from the formula (3) to a current joint include angle, the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint is obtained.

[0045] In addition, if the value of delta x becomes large, a formula (3) will not be materialized strictly. However, since the manipulator control unit 1 calculates repeatedly a short period called several 10 msec(s) from Number msec, and the value of delta x is fully small in this short periodic time amount, it is satisfactory.

[0046] In the right-hand side of a formula (3), the 1st term expresses the 1st component (sign 5 in drawing 1) which is a component of the joint include angle of the 1st joint 11 for realizing a target position from the value of the target position of an intersection 22 thru/or the 4th joint 14. Moreover, the 2nd term expresses the 2nd component (sign 6 in drawing 1) which is a component of the joint include angle of the 1st joint 11 which acts so that the gap of joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 may be made small thru/or the 4th joint 14.

[0047] The 2nd component is a component which does not affect change of the location of an intersection 22 at all. That is, even if it sets up the value of Vector k like how, the location of an intersection 22 does not change.

[0048] Using the property which this 2nd component has, as it is the following, the target joint include angle of the 1st joint 11 thru/or the 4th joint 14 is computed by computing the value of Vector k so that the gap with joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 may be made as small as possible.

[0049] (1) Compute unit-vector  $p = (p_1, p_2, p_3)$  of joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 from the value of a hand's 21 target posture. Here,  $p_1, p_2$ , and  $p_3$  express the space component of Vector p.

[0050] (2) When making into  $q = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$  what expressed unit-vector  $q = (q_1, q_2, q_3)$  of joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 with joint include-angle  $\theta_i$  ( $i=1-4$ ) of the 1st joint 11 thru/or the 4th joint 14, search for Vector k so that a formula (5) may be filled.

[0051]

[Equation 4]

$$k_1 = - \partial L / \partial \theta_1$$

$$k_2 = - \partial L / \partial \theta_2$$

(4)

$$k_3 = - \partial L / \partial \theta_3$$

$$k_4 = - \partial L / \partial \theta_4$$

Here, L is the distance of unit-vector  $p = (p_1, p_2, p_3)$  and unit-vector  $q = (q_1, q_2, q_3)$ , and is expressed by the formula (5).

[0052]

[Equation 5]

$$L = (p1 - q1)^2 + (p2 - q2)^2 + (p3 - q3)^2 \quad (5)$$

count of a formula (4) -- the Society of Instrument and Control Engineers -- the performance index p of the 2nd subtask of "measurement and control" Vol.25, No.1, and Tsuneo Yoshikawa work "the control system of a robot arm" is permuted by L, and it is equivalent to having calculated the formula (4.6) under publication of "the control system of a robot arm" to this L.

[0053] However, in this example, since he wants to decide the value of Vector k to make as small as possible the value of L which serves as a performance index unlike description of "the control system of a robot arm", minus sign has been attached to the right-hand side of a formula (4).

[0054] It asks for the 2nd component in a formula (3) using the vector k computed by the formula (4). And in a formula (3), the sum of the 1st component and the 2nd component is calculated and it asks for deltatheta. As mentioned above, it asks for the target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint by adding deltatheta computed from the formula (3) to a current joint include angle. Thereby, the target joint include angle of the 1st joint 11 thru/or the 4th joint 14 is computable so that the gap with joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 may be made as small as possible.

[0055] The method of a setup of the magnitude of Vector k is explained below. In addition, the magnitude of Vector k is given as a square root of the sum of squares of each component in a formula (4).

[0056] The magnitude of Vector k is decided to fill the following thing.

[0057] (1) Set up the magnitude of Vector k so that the 2nd component in a formula (3) may be increased, as it separates from the criteria include angle which is a joint include angle from which the joint include angle of the 5th joint 15 which is three joints of the point of a manipulator 1 thru/or the 7th joint 17 serves as criteria greatly. Thereby, the gap with joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 can prevent becoming large to the degree of pole.

[0058] (2) Set up the magnitude of Vector k so that the 2nd component in a formula (3) may be decreased, as the joint include angle of the 1st joint 11 which is four joints of the end face section of a manipulator 1 thru/or the 4th joint 14 separates from a criteria include angle greatly. Thereby, it can prevent that the joint include angle of the 1st joint 11 thru/or the 4th joint 14 separates from a criteria include angle to the degree of pole.

[0059] Next, a setup of the magnitude of the vector k with which above-mentioned (1) and (2) are filled is concretely explained using a formula (6) thru/or a formula (10).

[0060] The deflection vector deltathetat from the criteria include angle of the joint include angle of the 5th joint 15 which is three joints of a point thru/or the 7th joint 17 is shown in a formula (6).

[0061]

[Equation 6]

$$\Delta \theta t = (\theta 5 - \theta 50, \theta 6 - \theta 60, \theta 7 - \theta 70) \quad (6)$$

$\theta i$  : 第  $i$  関節軸関節角度

$\theta i0$  : 第  $i$  関節軸基準角度 ( $i=5,6,7$ )

Moreover, the deflection vector deltathetar from the criteria include angle of the joint include angle of the 1st joint 11 which is four joints of the end face section thru/or the 4th joint 14 is shown.

[0062]

[Equation 7]

$$\Delta \theta_r = (\theta_1 - \theta_{10}, \theta_2 - \theta_{20}, \theta_3 - \theta_{30}, \theta_4 - \theta_{40}) \quad (7)$$

$\theta_i$ : 第  $i$  関節軸関節角度

$\theta_{i0}$ : 第  $i$  関節軸基準角度

Next, a formula (8) defines the performance index  $L_t$  which is equivalent to distance from the criteria include angle of the joint include angle of three joints of a point.

[0063]

[Equation 8]

$$\begin{aligned} L_t &= \|A_t \cdot \Delta \theta_t\| \\ &= (\Delta \theta_t)^T \cdot A_t \cdot (\Delta \theta_t) \end{aligned}$$

$$\text{ここで } A_t = \begin{bmatrix} a_5 & 0 & 0 \\ 0 & a_6 & 0 \\ 0 & 0 & a_7 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Moreover, a formula (9) defines the performance index  $L_r$  which is equivalent to distance from the criteria include angle of the joint include angle of four joints of the end face section.

[0064]

[Equation 9]

$$\begin{aligned} L_r &= \|A_r \cdot \Delta \theta_r\| \\ &= (\Delta \theta_r)^T \cdot A_r \cdot (\Delta \theta_r) \end{aligned}$$

$$\text{ここで } A_r = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

In a formula (8) and a formula (9), a multiplier  $a_i$  ( $i=1-7$ ) is a weighting factor about which thinks the deflection from the criteria include angle of the joint include angle of the  $i$ -th joint as important, and is a forward constant. What is necessary is just to set all components as 1 like multiplier  $a_i$  ( $i=1-7$ ) = 1, in order to make small deflection from each criteria include angle of each joint include angle about all joints.

[0065] next, it is shown in a formula (10) -- as -- the ratio of  $L_t$  and  $L_r$  -- it asks for lambda.

[0066]

[Equation 10]

$$\lambda = L_t / L_r \quad (10)$$

final -- the magnitude of Vector  $k$  -- a ratio -- it sets up so that it may be proportional to lambda.

[0067] Thus, while the gap with joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 can prevent becoming large to the degree of pole by setting up the magnitude of Vector  $k$ , it can prevent that the joint include angle of four joints of the end face section separates from a criteria include angle to the degree of pole.

[0068] In addition, an impossible posture is easily avoidable when making it the deflection from the criteria include angle of the joint include angle by surrounding roll rotation of the joint shaft of the 5th joint 15 and the deflection from the criteria include angle of the joint include angle by surrounding roll rotation of the joint shaft of the 7th joint 17 become a reverse sign mutually.

Moreover, when only surrounding roll rotation of the joint shaft of the 7th joint 17 with which it was equipped with the hand 21 is required, with surrounding roll rotation of the joint shaft of the 5th joint 15 stopped, it is in the tolerance of the roll rotation around the joint shaft of the 7th joint 17, and it is convenient to take the posture of arbitration in any way.

[0069] according to the configuration of this example -- the magnitude of Vector  $k$  -- a ratio -- since it set up so that it might be proportional to  $\lambda$ , while the gap with joint shaft-orientations 15a of the 5th joint 15 and joint shaft-orientations 17a of the 7th joint 17 can prevent becoming large to the degree of pole, it can prevent that the joint include angle of four joints of the end face section separates from a criteria include angle to the degree of pole.

[0070] Consequently, as the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint is in the impossible range which is not, it can choose. And it can prevent enlarging only the joint include angle of a certain specific joint in vain.

[0071] Moreover, the movable range of the manipulator 10 whole can be enlarged by this, without being restricted by the movable range limitation of the joint include angle of a certain specific joint.

[0072] Moreover, since the value of the multiplier  $a_i$  ( $i=1-7$ ) in a formula (8) and a formula (9) can be set up suitably, weight \*\*\*\* can be carried out according to the tolerance where each deflection has the deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of each joint.

[0073] Consequently, to the joint which wants to lessen a burden, when realizing a certain target position and a target posture, if, that burden can be lessened.

[0074] in addition, the magnitude of Vector  $k$  -- a ratio -- although it is proportional to  $\lambda$  -- a ratio -- even if it is not proportional to  $\lambda$  itself -- for example, a ratio -- a ratio, such as being proportional to the square of  $\lambda$ , -- what is necessary is just to set up so that it may be dependent on the amount about  $\lambda$

[0075]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the configuration of this invention, a location arithmetic unit uses one degree of freedom of the remainder of four joints of the 1st joint which specifies a target posture thru/or the 4th joint. The target joint include angle of the 1st joint thru/or the 4th joint is calculated so that the magnitude of the component of the joint include angle of the 1st joint which acts so that the gap of the joint shaft orientations of the 5th joint and the joint shaft orientations of the 7th joint may be made small thru/or the 4th joint may be changed in the predetermined range. Consequently, the magnitude of each deflection from the criteria joint include angle of the joint include angle of the 1st joint thru/or the 7th joint can be in the predetermined range, and each joint of a manipulator can take the impossible joint include angle which is not in the joint include angle which realizes the target position and target posture of a manipulator.

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram of one example of the manipulator control device of this invention.

[Drawing 2] The perspective view (A) showing the manipulator used as the controlled system of the manipulator control unit of this invention, and drawing showing the configuration relation of the joint of a manipulator roughly (B).

[Description of Notations]

- 1 Manipulator Control Unit
- 2 Location Arithmetic Unit
- 3 Posture Arithmetic Unit
- 4 Joint Include-Angle Control Unit
- 5 1st Component
- 6 2nd Component
- 10 Manipulator
- 11 1st Joint
- 11a Joint shaft orientations of the 1st joint
- 12 2nd Joint
- 12a Joint shaft orientations of the 2nd joint
- 13 3rd Joint
- 13a Joint shaft orientations of the 3rd joint
- 14 4th Joint
- 14a Joint shaft orientations of the 4th joint
- 15 5th Joint
- 15a Joint shaft orientations of the 5th joint
- 16 6th Joint
- 16a Joint shaft orientations of the 6th joint
- 17 7th Joint
- 20 Pedestal
- 21 Hand
- 22 Intersection

---

[Translation done.]

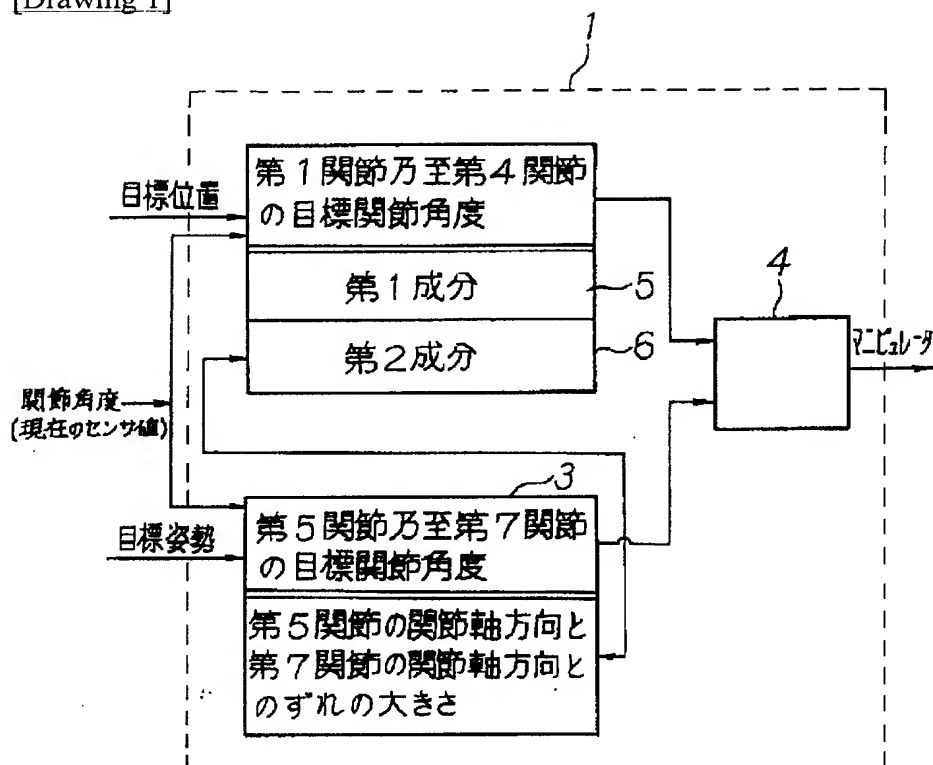
## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

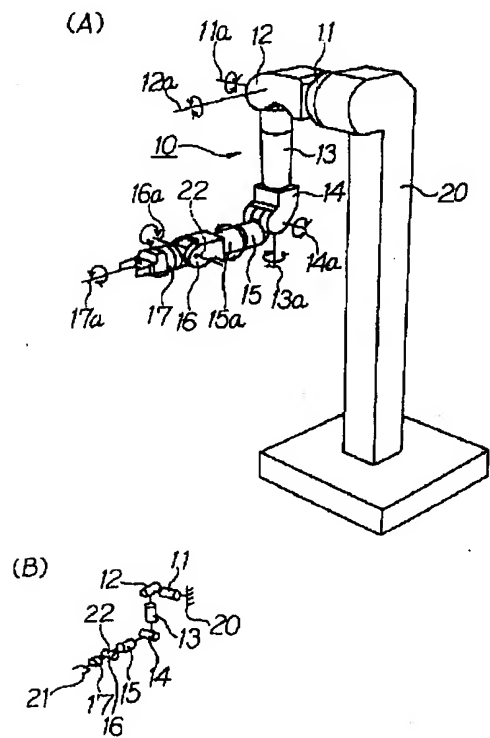
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Translation done.]